

Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт сильноточной электроники  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
директор ИСЭ СО РАН  
академик РАН



*Н. А. Ратахин*

Н. А. Ратахин

«24» августа 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Импульсная энергетика»**

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —  
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Оптика	Вариативная часть, дисциплина по выбору
2		Электрофизика, электрофизические установки	Вариативная часть, обязательная дисциплина
3	11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи	Вакуумная и плазменная электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору

# 1. Общая характеристика дисциплины

## 1.1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

Дисциплина изучает методы формирования мощных электромагнитных импульсов и их транспортировки от генератора к нагрузке.

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен знать:

- общую физику, теоретические основы электротехники, физику плазмы, физику газового разряда, методы математической физики в объеме, предусмотренном для магистров;

уметь:

- применять методы дифференциального и интегрального исчисления.

## 1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является углубленное изучение методологических и теоретических основ импульсной энергетики и электроники.

Задачи освоения дисциплины:

1. Приобретение аспирантом широких и систематических знаний о физических явлениях, определяющих процессы формирования и транспортировки мощных электромагнитных импульсов.

2. Формирование навыков оценивания и расчета основных узлов мощных импульсных генераторов.

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- способы формирования и транспортировки мощных электромагнитных импульсов; свойства и характеристики элементной базы, используемой в мощной импульсной технике;

- математический аппарат, используемый при проектировании мощных импульсных генераторов

иметь навыки:

- оценки конструктивных характеристик мощных импульсных генераторов различных типов для получения на заданной нагрузке необходимых выходных параметров.

## 1.3. Формируемые компетенции

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Наличие широких, целостных и глубоких знаний об электрофизических процессах в элементах формирования, трансформации и передачи мощных электромагнитных импульсов (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение вычленять факторы, наиболее существенные в тех или иных электрофизических установках, выполнять качественные оценки и количественные расчеты электрофизических процессов, соответствующих этим факторам, оценивать и прогнозировать важнейшие параметры установок (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

## 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

### 2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Самостоятельная работа
1	Введение в дисциплину	6	18	3
2	Применением длинных линий для формирования и трансформации импульсов	8		4
3	Коммутаторы и размыкатели	10		4
4	Генераторы на основе емкостных накопителей	6		4
5	Импульсные трансформаторы	6		3
6	Применения импульсной энергетики	—	—	36
	ВСЕГО	36	18	54

### 2.2. Лекционные занятия

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
РАЗДЕЛ 1. Введение в дисциплину		6	0,167
1	Тема 1.1. Вводная лекция: импульсные процессы и импульсные генераторы Импульсная энергетика и силовая электроника, их применения. Принципы построения мощных импульсных генераторов. Накопители энергии различных видов	2	0,055
2	Тема 1.2. Основы теории электрических цепей Квазистационарные и волновые электромагнитные поля. сосредоточенные элементы электрической цепи. Методы описания процессов в электрических цепях. Уравнения Кирхгофа. Операционный метод Лапласа. Метод Фурье-представлений. Интеграл Дюамеля.	2	0,055
3	Тема 1.3. Свойства RLC контура	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Применением длинных линий для формирования и трансформации импульсов		8	0,22
4	Тема 2.1. Однородные длинные линии без потерь Телеграфные уравнения. Закон сохранения энергии в длинных линиях.	2	0,055

	Коэффициенты отражения по току и напряжению. Коэффициенты прохождения из одной однородной линии в другую. Свойства некоторых типов однородных линий (плоская линия, коаксиальная линия, конусная линия, радиальная линия, спиральная линия).		
5	<u>Тема 2.2. Свойства однородных линий</u> Разряд «медленного» генератора на линию конечной длины. Разряд полубесконечной заряженной линии на нагрузку, содержащую сосредоточенные элементы.	2	0,055
6	<u>Тема 2.3. Неоднородные длинные линии</u> Неоднородные линии с плавно меняющимися параметрами. Экспоненциальная линия. Трансформация синусоидального и прямоугольного импульсов в экспоненциальной линии.	2	0,055
7	<u>Тема 2.4. Вакуумные линии с магнитной самоизоляцией</u> Бриллюэновский поток. Минимальный ток магнитной самоизоляции. Максимальный ток магнитной самоизоляции. Отражения в линии с магнитной самоизоляцией.	2	0,055
<b>РАЗДЕЛ 3. Коммутаторы и размыкатели</b>		10	0,275
8	<u>Тема 3.1. Искровые газовые разрядники высокого давления. Теория</u> Статический пробой в газе. Импульсный пробой в газе. Сопротивление искрового канала. Время коммутации искрового промежутка.	2	0,055
9	<u>Тема 3.2. Искровые газовые разрядники высокого давления. Конструкция.</u> Двухэлектродные разрядники. Трехэлектродные разрядники. Общие требования к управляемым разрядникам. Требования к схеме запуска. Разрядники с искажением поля, тригatronы.	2	0,055
10	<u>Тема 3.3. Искровые газовые разрядники высокого давления. Конструкция.</u> Многозазорные разрядники. Требования к схеме запуска многозазорных разрядников. Распределение зарядного напряжения в многозазорных разрядниках.	2	0,055
11	<u>Тема 3.4. Искровые разрядники других типов</u> Коммутаторы с пробоем твердого диэлектрика. Коммутаторы с пробоем в жидкости. Коммутаторы с разрядом по поверхности диэлектрика.	2	0,055
12	<u>Тема 3.5. Размыкающие ключи</u> Размыкающие ключи на взрывающихся проводниках. Плазменные прерыватели тока. Магнитные ключи. Полупроводниковые размыкающие ключи. Применение размыкающих ключей в различных устройствах импульсной техники.	2	0,055
<b>РАЗДЕЛ 4. Генераторы на основе емкостных накопителей</b>		6	0,167
13	<u>Тема 4.1. Емкостные первичные накопители</u> Накопители без повышения напряжения. Накопители с повышением напряжения. Генератор Маркса. Схема запуска генератора Маркса. Схема Фитча.	2	0,055
14	<u>Тема 4.2. Генератор с промежуточным емкостным накопителем.</u> Зарядка промежуточного емкостного накопителя. Вывод энергии из промежуточного емкостного накопителя. Достоинства и недостатки генераторов с промежуточным емкостным накопителем.	2	0,055
15	<u>Тема 4.3. Генератор с промежуточным индуктивным накопителем.</u> Вывод энергии из индуктивного накопителя в индуктивную нагрузку. Вывод энергии из индуктивного накопителя в резистивную нагрузку. Достоинства и недостатки генераторов с промежуточным индуктивным накопителем.	2	0,055
<b>РАЗДЕЛ 5. Импульсные трансформаторы</b>		6	0,167
16	<u>Тема 5.1. Импульсный трансформатор</u> Схема замещения трансформатора. Индуктивность намагничивания, индуктивность рассеяния, коэффициент связи, коэффициент трансформации. Ферромагнитные сердечники.	2	0,055

17	Тема 5.2. Трансформатор Тесла Свойства трансформатора Тесла.	2	0,055
18	Тема 5.3. Индукционные генераторы Линейный индукционный ускоритель. Линейный импульсный трансформатор.	2	0,055
	СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ	36	1,0

### 2.3. Практические (семинарские) занятия

Практические занятия включают в себя коллективные задания проектно-исследовательского характера.

Пример задания: «Предложить и разработать конструкцию мощного импульсного генератора для имитации разряда молнии. Генератор предназначен для проведения полевых исследований воздействия грозовых перенапряжений на элементы энергосистем. Генератор должен обеспечить переключение аperiodического импульса тока амплитудой 50 кА, с временем нарастания 1,2 мкс и временем спада до половинного уровня амплитуды 50 мкс в индуктивную нагрузку  $\sim 10^{-5}$  Гн.»

В ходе выполнения задания следует:

- оценить требуемые характеристики импульсного генератора;
- выбрать тип (схему) генератора;
- предложить конструкцию и определить параметры элементов генератора;
- выполнить расчет выходного импульса генератора с учетом предлагаемой конструкции.

Критерии оценки выполнения коллективного задания:

- насколько использованный подход к решению задачи соответствует этой задаче и насколько он обоснован;
  - все ли необходимые для решения задачи исходные данные учтены;
  - правильность математических выкладок;
  - наличие оригинальных находок при решении задачи;
  - обоснованность сделанных выводов;
  - степень практической осуществимости предложенного решения;
  - общая оценка результативности решения задачи: в какой мере удалось задачу решить.
- Максимальный балл — 7 (максимум 1 по каждому из критериев).

### 2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе; изучение и конспектирование источников из списка дополнительной учебной и научной литературы, обзорной литературы, включая интернет-источники;
- проработку тем, вынесенных для самостоятельного изучения;
- подготовку реферата на тему, согласованную с преподавателем;
- подготовку к практическим (семинарским) занятиям;
- решение задач по заданию преподавателя.

#### 2.4.1. Темы, вынесенные на самостоятельное изучение

Раздел учебного курса, тема, вынесенная на самостоятельное изучение
РАЗДЕЛ 6. Применения импульсной энергетики
Тема 6.1. Инерциальный термоядерный синтез на лазерах и требования, предъявляемые этой программой к импульсным генераторам.
Тема 6.2. Инерциальный термоядерный синтез на тяжелых ионах и требования, предъявляемые этой программой к импульсным генераторам.

Тема 6.3. Инерциальный термоядерный синтез на Z-пинчах и требования, предъявляемые этой программой к импульсным генераторам.
Тема 6.4. Генерирование мощных импульсов мягкого рентгеновского излучения. Z-пинчи. Требования к импульсным генераторам.
Тема 6.5. Исследование вещества в условиях высокой плотности вложенной энергии. Требования к импульсным генераторам.
Тема 6.6. Генерирование мощных импульсов жесткого рентгеновского излучения. Требования к импульсным генераторам.
Тема 6.7. Генерирование мощных импульсов СВЧ-излучения и сверхширокополосного электромагнитного излучения. Требования к импульсным генераторам.
Тема 6.8. Мощные импульсные газовые лазеры. Требования к импульсным генераторам.

### 2.4.2. Подготовка реферата

Тема реферата выбирается из Раздела 6 для самостоятельного изучения «Применения импульсной энергетики», по согласованию с преподавателем.

Требования к реферату: ориентировочный объем 30 тыс. печатных знаков. Число иллюстраций не менее 8. Число ссылок на использованные источники не менее 7. Ссылки на использованные источники обязательны. Общий объем заимствованного текста не более 25%.

Критерии оценки реферата:

- полнота и разносторонность рассмотрения вопроса;
- число и качество использованных источников;
- изложение материала научным языком, отсутствие жаргона;
- наличие самостоятельных выводов, обобщающих сделанный обзор;
- изложение материала преимущественно своими словами (минимальный объем прямых текстовых заимствований). Отсутствие прямых заимствований без ссылки на источник.

Максимальный балл за реферат — 20 (максимум 4 по каждому критерию).

### 2.4.3. Примеры домашних заданий

1. Доказать, что максимальная мощность  $RLC$  контура достигается на нагрузке  $R \sim 1.1\rho$ .
2. Показать, что в  $RLC$  контуре с последовательным сопротивлением  $R_1$  максимальная мощность достигается на нагрузке  $R_{load} \approx 1.1\rho + 0.8R_1$ .
3. Вывести выражения для определения индуктивности и сопротивления  $RLC$  контура с известной емкостью по осциллограмме тока при  $R < 2\sqrt{L/C}$ .
4. Вывести выражения для определения индуктивности и сопротивления  $RLC$  контура с известной емкостью по осциллограмме производной тока при  $R < 2\sqrt{L/C}$ .
5. Показать возможность определения напряжения на входе однородной линии по току на короткозамкнутом конце.
6. Определить зависимость энергии, теряемой на коммутацию искрового промежутка в разрядниках высокого давления от давления газа и длины зазора.
7. Выполнить анализ эффективности переключения энергии из индуктивного накопителя в индуктивную нагрузку с учетом индуктивности прерывателя тока.
8. Определить сопротивление прерывателя  $R_S$ , при котором его использование целесообразно для увеличения мощности в  $LC$  контуре при работе на резистивную нагрузку (в приближении  $R_S = const$ ).
9. Доказать повышение эффективности передачи энергии из индуктивного накопителя в индуктивную нагрузку при включении емкости параллельно прерывателю тока.
10. Вывести выражения для потерь энергии, связанных с возбуждением вихревых токов в многослойном сердечнике.
11. Доказать, что коэффициент связи  $k=1$  является оптимальным для трансформатора Тесла.

12. Обосновать метод экспериментального определения индуктивности намагничивания и индуктивности рассеивания обмоток трансформатора при известном коэффициенте трансформации

При выполнении задания требуется:

- при необходимости доопределить задачу;
- составить электрическую схему и записать уравнения для электрического контура;
- произвести математические выкладки и получить результат;
- проанализировать результат и сделать практические выводы.

Представленное решение оценивается преподавателем по следующим критериям:

- насколько правильно выбраны подход к решению задачи и общая последовательность действий;
- правильно ли составлены уравнения;
- правильны ли сделанные на их основе математические выкладки, верен ли конечный математический результат;
- насколько обоснован вывод из полученных выражений, насколько он ценен и отвечает ли он на вопрос задачи.

Максимальный балл за каждую задачу — 4 (максимум 1 по каждому критерию).

#### 2.4.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у преподавателя.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

### 3. Учебно-методические материалы

#### 3.1. Основная и дополнительная литература

а) основная литература:

1. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Сов. Радио, 1974. – 256 с.
2. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. – 704 с.
3. Ковальчук Б.М., Кремнев В.Ю., Поталицын Ю.Ф. Сильноточные наносекундные коммутаторы. Новосибирск: Наука. 1979. – 176 с.
4. Коровин С.Д. Мощная импульсная энергетика: курс лекций. Томск: Изд-во ТГУ, 2007. – 256 с.
5. Bluhm H. Pulsed Power Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2006.; Блум Х. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств, пер. с англ. Рабодзея А.М. М.: Додэка-XXI, 2008. – 352 с.

б) дополнительная литература:

1. Месяц Г.А., Пегель И.В. Введение в наносекундную импульсную энергетика и электроника. М.: ФИАН, 2009. – 192 с.
2. Кремнев В.В., Месяц Г.А. Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. Новосибирск: Наука, 1987.
3. Накопление и коммутация энергии больших плотностей / под ред. У. Бостика, В. Нарди, О. Цукера. – М.: Мир, 1979.
4. Физика и техника мощных импульсных систем / под ред. Е.П. Велихова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М.: Издательство “Мир”, 1972. – 391 с.

6. Соковнин С.Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
7. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. М.: Сов. радио, 1968.
8. Мейлинг В. Стари Ф. Наносекундная импульсная техника. – М.: Атомиздат, 1973. – 384 с.
9. Желтов К.А. Пикосекундные высокопоточные электронные ускорители. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 120 с.
10. Smith I.D. Induction voltage adders and the induction accelerator family // Phys. Rev. STAB, v. 7, 064801 (2004).
11. Stygar W.A., et. al. Architecture of petawatt class z-pinch accelerators // Phys. Rev. STAB, v. 10, 030401 (2007).
12. Kim A.A., Mazarakis M.G., Manylov V.I., Vizir V.A., Stygar W.A. Energy loss due to eddy current in linear transformer driver cores // Phys. Rev. STAB, v.13, 070401 (2010).

#### 4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства мультимедиа,
- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет,
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН.

#### 5. Оценка качества освоения дисциплины

##### 5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием балльной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины), суммарно	15
Итоговый тест	15
Выполнение коллективного задания проектно-исследовательского характера (семинарские занятия)	14
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	20
Решение задач (самостоятельная работа)	16
Дифференцированный зачет	20
<b>Максимальный суммарный балл</b>	<b>100</b>

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

«Отлично»: 16—20 баллов.

«Хорошо»: 11—15 баллов.

«Удовлетворительно»: 6—10 баллов.

«Неудовлетворительно»: 5 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:



- «Отлично»: 81—100 баллов.  
 «Хорошо»: 61—80 баллов.  
 «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.  
 «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

### 5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	+	+	+			
Итоговый тест	+	+	+			
Выполнение коллективного задания проектно-исследовательского характера (семинарские занятия)	+	+	+	+	+	+
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	+	+	+	+		
Решение задач (самостоятельная работа)	+	+	+			
Дифференцированный зачет	+	+	+	+		

### 5.3. Примеры вопросов для составления промежуточных и итогового тестов

Для составления каждого из промежуточных тестов (по итогам освоения разделов дисциплины) используются вопросы, относящиеся к изучаемому разделу. Итоговый тест содержит все имеющиеся в базе вопросы. Вопросы в тесте каждому обучающемуся даются в индивидуальном случайном порядке.

Балл за тест, получаемый обучающимся, вычисляется путем нормирования суммарного числа правильных ответов таким образом, чтобы максимальный балл за все промежуточные тесты и максимальный балл за итоговый тест соответствовали величинам, указанным в таблице п. 5.1.

1. Указать выражение для оптимальной нагрузки  $LC$  контура, с точки зрения реализации максимальной мощности:

(А)  $R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$ ;      (Б)  $R = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ;      (В)  $R = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ ;      (Г)  $R = 1.1 \sqrt{\frac{L}{C}}$ .

2. Каким выражением определяется максимальная напряженность электрического поля в коаксиальной линии с водяным заполнением, если радиус внутреннего и внешнего проводников  $r_1, r_2$ , напряжение на линии  $U$ ?

(А)  $\frac{U}{(r_2 - r_1)}$ ;      (Б)  $\frac{U}{r_1 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$ ;      (В)  $\frac{U}{\sqrt{\varepsilon}(r_2 - r_1)}$ ;  
 (Г)  $\frac{U}{\sqrt{\varepsilon} \cdot r_1 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$ ;      (Д)  $\frac{U}{r_1}$ ;      (Е)  $\frac{U}{\sqrt{\varepsilon} \cdot r_1}$ .

3. Указать верное определение линии с магнитной самоизоляцией:
- (А) Линия с проводниками из материалов, имеющих магнитные свойства;
  - (Б) Линия, на которую наложено внешнее магнитное поле;
  - (В) Линия, магнитная изоляция которой обеспечивается утечками на фронте импульса, распространяющегося по линии.
4. Указать правильное выражение для критического тока изоляции в одноэлектронном приближении для коаксиальной линии с радиусом внутреннего и внешнего проводников  $r_1$ ,  $r_2$  при напряжении  $U$ :
- (А)  $\frac{8500}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \sqrt{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^{3/2} - 1}$ ;      (Б)  $\frac{8500}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \sqrt{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2 - 1}$ ;
- (В)  $17000 \sqrt{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^{3/2} - 1}$ ;      (Г)  $\frac{17000}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \sqrt{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2 - 1}$ ;
- (Д)  $\frac{8500}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \sqrt{\left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2 + 1}$ ;      (Е)  $17000 \left(1 + \frac{eU}{mc^2}\right)^2$ .
5. Скорость распространения электромагнитной волны по передающей линии с прямолинейными электродами определяется:
- (А) формой катода линии;
  - (Б) формой анода линии;
  - (В) магнитной проницаемостью межэлектродного заполнения;
  - (Г) диэлектрической проницаемостью межэлектродного заполнения;
  - (Д) магнитной и диэлектрической проницаемостью межэлектродного заполнения.
6. Что определяет термин «неоднородная линия с плавно меняющимися параметрами»?
- (А) саму линию;
  - (Б) свойства распространяющегося по линии импульса;
  - (В) то и другое вместе взятое.
9. Для уменьшения времени коммутации газоразрядного промежутка необходимо:
- (А) увеличивать давление и снижать длину зазора – при любой скорости нарастания напряжения;
  - (Б) уменьшать давление и увеличивать длину зазора – при любой скорости нарастания напряжения;
  - (В) увеличивать величину перенапряжения, т.е. подавать напряжение на промежуток очень быстро и очень большой амплитуды.
10. Расставить газы в порядке увеличения электрической прочности при идентичных условиях пробоя ( $pd = \text{const}$ ) для правой ветви Пашена:
- (А) Азот;      (Б) Водород;
  - (В) Аргон;      (С) Элегаз.
11. Расставить газы в порядке приоритетности использования в качестве рабочей среды в разрядниках высокого давления, исходя из критерия реализации малого времени коммутации:

- (А) Азот  
(Б) Гелий  
(В) Аргон  
(С) Углекислый газ

12. Указать правильную функциональную зависимость сопротивления искрового разрядника от длины зазора в разряднике  $d$  и протекающего тока  $i(t)$  (в соответствие с моделями Ромпе-Вейцеля, Теплера, Брагинского):

(А)  $R(t) \sim d \cdot \left( \int i(t)^\gamma dt + const \right)$ ;      Б)  $R(t) \sim \frac{d}{\left( \int i(t)^\gamma dt + const \right)^\delta}$ ;  
 В)  $R(t) \sim \frac{d}{i(t)^\gamma}$ ;      Г)  $R(t) \sim \frac{1}{d \cdot \left( \int i(t)^\gamma dt + const \right)^\delta}$ .

13. Указать пути повышения стабильности срабатывания разрядников и уменьшения времени развития разряда:

- (А) снижать давление газа при фиксированном произведении  $p \cdot d$ ;  
 (Б) увеличивать перенапряжение на промежутке за счет импульсной зарядки накопителя энергии;  
 (В) исключить подсветку разрядного промежутка;  
 (Г) усилить неоднородность поля на катод.

14. Функциональная зависимость для постоянной времени спада напряжения на сопротивление канала разряда:

(А)  $\frac{88}{R^{1/3} E^{4/3}} \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/2}$ ;      (Б)  $\frac{88 \cdot E^{4/3}}{R^{1/3}} \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/2}$ ;  
 (В)  $\frac{88 \cdot R^{1/3}}{E^{4/3}} \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/2}$ ;      (С)  $88 \cdot E^{4/3} R^{1/3} \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/2}$ .

15. Указать наиболее подходящий материал для прерывателя тока на электрически взрывааемых проводниках исходя из критерия произведения удельного сопротивления на энергию сублимации:

- (А) Медь;      (Б) Алюминий;      (В) Серебро;  
 (Г) Платина;      (Д) Цинк.

16. Снижение потерь энергии, связанных с возбуждением вихревых токов в многослойном сердечнике трансформатора, может быть достигнуто за счет:

- (А) Уменьшения сечения сердечника;  
 (Б) Уменьшения толщины единичного слоя;  
 (В) Использования ферромагнитного материала с меньшим удельным электрическим сопротивлением;  
 (Г) Увеличения длины сердечника.

17. Указать правильное выражение для максимального значения переключенной в индуктивную нагрузку энергии  $W_{load}$  из индуктивного накопителя с запасенной энергией  $W_0$ :

- (А)  $W_{load} = W_0$ ;      (Б)  $W_{load} = 0.5 \cdot W_0$ ;  
 (В)  $W_{load} = 0.25 \cdot W_0$ ;      (Г)  $W_{load} = 0.1 \cdot W_0$ .

18. Указать условие максимальной эффективности вывода энергии из первичного емкостного накопителя  $C_1$  в промежуточный емкостного накопителя  $C_2$ :

- (А)  $C_1 = C_2$ ;      (Б)  $C_1 \gg C_2$ ;      (В)  $C_1 \ll C_2$ .

19. За счет чего достигается автоматизм запуска разрядников в верхних ступенях генераторов Маркса?

- (А) За счет правильно выбранной длины межэлектродных зазоров;
- (Б) За счет высокой амплитуды пускового импульса;
- (В) За счет наличия емкостной связи между конденсаторами верхних ступеней и заземленным баком генератора.

20. Назвать свойства, присущие первичному накопителю по схеме Маркса и по схеме Фитча:

- (А) в 2 раза меньше разрядников при равном числе ступеней;
- (Б) сопротивление и индуктивность разрядников ступеней не влияют на мощность импульса в нагрузке;
- (В) сопротивление и индуктивность разрядников ступеней влияют на мощность и форму импульса в нагрузке;
- (Г) конденсаторы четных каскадов должны выдерживать 100%-ный реверс по напряжению.
- (Д) возможность автоматического запуска разрядников в верхних ступенях за счет емкостных связей ступеней генератора на землю.

Рабочая программа составлена на основании:

федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлениям подготовки 03.06.01 Физика и астрономия и 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспортов специальностей научных работников 01.04.13 — электрофизика, электрофизические установки; 05.27.02 — вакуумная и плазменная электроника;
- программ-минимумов кандидатских экзаменов по выше перечисленным специальностям, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы  
ведущий научный сотрудник,  
к.т.н.

А. А. Жерлицын

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.  
Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.

И. В. Пегель

**Дополнения и изменения в рабочей программе**  
за \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебный год

В рабочую программу дисциплины «Импульсная энергетика» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес \_\_\_\_\_  
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.  
Протокол № \_\_\_\_ от «    » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.